

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-122545
 (43)Date of publication of application : 17.05.1996

(51)Int.CI.

G02B 6/12

(21)Application number : 06-257060

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

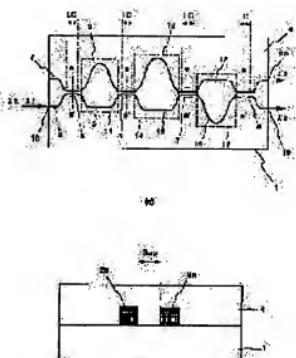
(22)Date of filing : 21.10.1994

(72)Inventor : ARAI HIDEAKI
UETSUKA NAOTO

(54) WAVEGUIDE TYPE OPTICAL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

(57)Abstract:

PURPOSE: To extend one band without narrowing the other band.
 CONSTITUTION: In the waveguide type optical multiplexer/demultiplexer which allows light of the band including wavelengths λ_1 and λ_3 to pass through and couples light of the band including a wavelength λ_2 , waveguide length differences ΔL_1 and ΔL_2 of phase difference giving parts 11, 14, and 17 and a coupling rate $\kappa(\lambda_2)$ of the wavelength λ_2 of directional couplers 5 to 8 satisfy conditional formulas $\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5)\lambda_3/(\text{neff}(\lambda_3))$, $P_c(\lambda_2) = 4 \cdot \kappa(\lambda_2) \cdot (1 - \kappa(\lambda_2)) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda_2) \cdot p \cdot \Delta L_1 / \lambda_2) = 0.5$, $2 \cdot N_2 = \lambda_1 / (\text{neff}(\lambda_1)) / \| \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) / \|$, and $\Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5)\lambda_1 / (\text{neff}(\lambda_1)) = N_2 \cdot \lambda_2 / (\text{neff}(\lambda_2))$ where N_1 and N_2 are integers and $\text{neff}(\lambda)$ is the equivalent refractive index of waveguides 2 and 3 to light of the wavelength λ .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.07.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3175499

[Date of registration] 06.04.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(45) 発行日 平成13年6月11日 (2001. 6. 11)

特許第3175499号

(P 3175499)

(24) 登録日 平成13年4月6日 (2001. 4. 6)

(51) Int. C.I. 7

G 02 B 6/12

識別記号

F I

G 02 B 6/12

F

請求項の数 2

(全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-257060
 (22) 出願日 平成6年10月21日 (1994. 10. 21)
 (65) 公開番号 特開平8-122545
 (43) 公開日 平成8年5月17日 (1996. 5. 17)
 審査請求日 平成11年7月2日 (1999. 7. 2)

(73) 特許権者 000005120
 日立電線株式会社
 東京都千代田区大手町一丁目6番1号
 (72) 発明者 荒井 英明
 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電線株式会社オプトロシステム研究所内
 (72) 発明者 上坂 尚登
 茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立電線株式会社オプトロシステム研究所内
 審査官 岡田 吉美

(56) 参考文献 特開 平5-181172 (J P, A)

(58) 調査した分野 (Int. C.I. 7, D B名)

G02B 6/12 ~ 6/14

(54) 【発明の名称】導波路型光合分波器

1 (57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】入力ポートであるポート1、ポート2、出力ポートであるポート3、ポート4を有し、ポート1とポート3を結ぶ導波路とポート2とポート4を結ぶ導波路の合計2本の導波路が、波長λでの光の強度の結合率がκ(λ)である2つの方向性結合器とその2つの方向性結合器を結ぶ位相差付与部を形成し、その位相差付与部ではポート1とポート3を結ぶ導波路の方がポート2とポート4を結ぶ導波路よりも長さがΔL₁、だけ長い構造をした2つのマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器を有し、片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光* す条件式、

$$\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_s / \text{neff}(\lambda_s) \quad (1)$$

$$P_C(\lambda_z) = 4 \cdot \kappa(\lambda_z) \cdot (1 - \kappa(\lambda_z)) \cdot \cos^2 \{ \text{neff}(\lambda_z) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda_z \} = 0.5 \quad (2)$$

$$2 \cdot N_2 =$$

2

* 合分波器のポート4とともに一方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート1を1本の導波路で結び、この導波路よりも△L₂だけ長い導波路で片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート3とともに一方のポート2を結んだ構成で、波長λ₁、λ₂を含む帯域の光を透過し、波長λ₂を含む帯域の光を結合する導波路型光合分波器において、N₁、N₂を整数、neff(λ)を導波路の波長λの光に対する等価屈折率としたとき、位相差付与部の導波路長差△L₁、△L₂、方向性結合器の波長λ₂の結合率κ(λ₂)が、次に示す条件式、

$$\lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) / \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) / \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (3)$$

$$\Delta L_2 = (N \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) = N \cdot \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (4)$$

を満たすことを特徴とした導波路型光合分波器。

【請求項2】 請求項1に記載の条件式(2)で示した波長*

$$Pc(\lambda) =$$

$$4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot (1 - \kappa(\lambda)) \cdot \cos^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda]$$

の微分 $dPc(\lambda) / d\lambda$ が波長 λ_2 、あるいは λ_1 近傍の波長で 0 となるように、方向性結合器の結合率 $\kappa(\lambda)$ 、導波路の等価屈折率 $\text{neff}(\lambda)$ 及び位相差付与部の導波路長差 ΔL を選定してなることを特徴とした導波路型光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【産業上の利用分野】 本発明は、2つの帯域の光を合分波するマッハツエンダ型の導波路型光合分波器に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

(従来例1) マッハツエンダ干渉計の原理を応用した導波路型マッハツエンダ干渉計型光合分波器(以下、光合※20の整数を N_2 としたとき、

$$\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5) \cdot \lambda_1 = N_2 \cdot \lambda_2 \quad (5)$$

の関係で与えられることである。式(5)から判るよう ★ ★ に、波長 λ_1 、波長 λ_2 は任意に得られるのではなく、
 $\lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) / \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) / \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (6)$

$$= 2 \cdot N_2 \quad (6)$$

を満たす波長の組み合わせのみに制約される。なお、式

(6) では導波路の等価屈折率 $\text{neff}(\lambda)$ の波長依存性を☆ ☆考慮した。

【0 0 0 4】 式(5)は、
 $\Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) = N_2 \cdot \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (7)$

と書き換えられ、各ポートでの通過波長と阻止波長は、

◆から結合ポート 2 6への光の結合率を P_{2-3} 、入力ポート

式(7)の ΔL_2 を定めることにより高精度に設定でき
 $30 \cdot \lambda_2$ から透過ポート 2 7への光の透過率を P_{2-4} とす
 る。

◆から結合ポート 2 6への光の結合率を P_{2-3} 、入力ポート
 $30 \cdot \lambda_2$ から透過ポート 2 7への光の透過率を P_{2-4} とす
 る。

【0 0 0 5】 この光合分波器において、入力ポート 2 5◆

$$P_{2-3} = 4 \cdot (1 - \kappa(\lambda)) \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda] \quad (8)$$

$$P_{2-4} = \{1 - 2 \cdot \kappa(\lambda)\}^2 + 4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot (1 - \kappa(\lambda)) \cdot \sin^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda] \quad (9)$$

で与えられる。なお、ここでは導波路の伝搬損失、散乱損失は無視している。式(5)から式(9)の $\kappa(\lambda)$ に注目すると、ポート 2 6から取り出される光である波長 λ_2 の光の強度の結合率 $\kappa(\lambda_2)$ を 0.5 に設定することにより、低損失でクロストークが 0 の光合分波器を構成できることがわかる。

【0 0 0 6】 この設計方法により波長 $\lambda_1 = 1.31 \mu\text{m}$ 、波長 $\lambda_2 = 1.53 \mu\text{m}$ として設計した光合分波器の特性を図 3 (b) に示す。

【0 0 0 7】 (参照文献 1: 電子情報通信学会論文誌 C-I Vol. J73-C-I No. 5 pp. 354-359 1990 年 5 月)

(従来例2)

(従来例 1) で説明した光合分波器の通過波長帯域及び阻止波長帯域は狭く、実用化するためには帯域の拡大が

必要であった。そこで図 5 に示すような光合分波器が開発された。(参照文献 2: T. Kominato et al; Optical multi/demultiplexer with a modified Mach-Zender interferometer configuration; OEC' 94, Technical digest pp. 174-175, July 12-15, 1994)

この(従来例2)の光合分波器の要点は(従来例1)の方向性結合器をマッハツエンダ干渉計型光合分波器で置き換え、さらに置き換えたマッハツエンダ干渉計型光合分波器(以下、ドーター MZ 合分波器と略する)の合分波特性により(従来例1)の波長 λ_1 に加えて波長 λ_3 を通過するようにしたことにある。構造は図 5 (a) に示す様に、長さが ΔL 、だけ異なる導波路 4 と導波路 4 3 からなる位相差付与部 4 4 と結合率が $\kappa(\lambda)$ である 50 方向性結合器 3 8、3 9 で構成されるドーター MZ 合分

波器と、長さが ΔL_1 だけ異なる導波路4 8と導波路4 9からなる位相差付与部5 0と結合率が $\kappa(\lambda)$ である方向性結合器4 0、4 1で構成されるドーター-MZ合分波器が、上下反対に配置され、その2つのドーター-MZ合分波器を長さが ΔL_2 だけ異なる導波路4 5と4 6で*

$$P_{z-a} = (1 - 2 \cdot P_c(\lambda)) z + 4 \cdot P_c(\lambda) \cdot (1 - P_c(\lambda)) \cdot \sin^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (10)$$

$$P_{z-a} = 4 \cdot (1 - P_c(\lambda)) \cdot P_c(\lambda) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (11)$$

$$P_c(\lambda) = 4 \cdot (1 - \kappa(\lambda)) \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (13)$$

ここで、 ΔL_2 は(従来例1)と同様に式(5)、(6)、(7)から定められる。

【0 0 0 9】ここで、方向性結合器の結合率 $\kappa(\lambda)$ と※

$$\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_2 / 2 = N_1 \cdot \lambda_2 / 2 \quad (14)$$

$$\kappa(\lambda_2) = 0.5 \quad (15)$$

により与えられる。ここで N_1 は整数であり、 λ_2 は波長 λ_1 に近い波長である。

【0 0 1 0】以上の様な設計方法により波長 $\lambda_1 = 1.31 \mu\text{m}$ 、波長 $\lambda_2 = 1.53 \mu\text{m}$ 、波長 $\lambda_3 = 1.276 \mu\text{m}$ として設計した光合分波器の合分波特性を図5(b)に実験で示す。比較のため図5(b)中に点線で(従来例1)の合分波特性も示した。

【0 0 1 1】

【発明が解決しようとする課題】(従来例2)では(従来例1)よりも片方の帯域を拡大することに成功している。しかし、導波路の幅あるいは屈折率を変えない限り、条件式(7)で整数 N_2 に対応して (λ_1, λ_2) の組み合わせが決まってしまう。また条件式(14)から整数 N_1 に対応して (λ_2, λ_3) の組み合わせが決まってしまう。さらに帯域を拡大するには λ_3 は λ_1 に近い波長という規定がある。よって、整数 N_1 と λ_2 を決めれば、他のすべての設計パラメータは選択の余地なく決まってしまい、設計の自由度が少ないという問題があつた。

【0 0 1 2】また、図5(b)からわかる様に(従来例2)は $1.3 \mu\text{m}$ 帯域においては(従来例1)よりも通過及び阻止波長帯域が広いが、 $1.5 \mu\text{m}$ 帯域においては逆に(従来例1)よりも通過及び阻止波長帯域が狭くなっている。この様に片方の帯域を狭めることなしに、もう一方の帯域を広げることができないという問題があつた。

* 結ぶ構造である。

【0 0 0 8】この光合分波器において、入力ポート3 5から透過ポート3 7への光の透過率を P_{z-a} 、入力ポート3 5から結合ポート3 6への光の結合率を P_{z-a} とする。

$$P_{z-a} = (1 - 2 \cdot P_c(\lambda)) z + 4 \cdot P_c(\lambda) \cdot (1 - P_c(\lambda)) \cdot \sin^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (10)$$

$$P_{z-a} = 4 \cdot (1 - P_c(\lambda)) \cdot P_c(\lambda) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (11)$$

$$P_c(\lambda) = 4 \cdot (1 - \kappa(\lambda)) \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda) \quad (13)$$

※ドーター-MZ合分波器の位相差付与部の導波路長差 ΔL は、

★【0 0 1 3】本発明の目的は、上記課題を解決し、片方の帯域を狭めることなしにもう一方の帯域を拡大することにある。

20 【0 0 1 4】

【課題を解決するための手段】請求項1記載の本発明の要旨は、入力ポートであるポート1、ポート2、出力ポートであるポート3、ポート4を有し、ポート1とポート3を結ぶ導波路とポート2とポート4を結ぶ導波路の合計2本の導波路が、波長 λ_1 での光の強度の結合率が $\kappa(\lambda_1)$ である2つの方向性結合器とその2つの方向性結合器を結ぶ位相差付与部を形成し、その位相差付与部ではポート1とポート3を結ぶ導波路の方がポート2とポート4を結ぶ導波路よりも長さが ΔL_1 だけ長い構造をした2つのマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器を有し、片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート4とももう一方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート1を1本の導波路で結び、この導波路よりも ΔL_2 だけ長い導波路で片方のマッハツエンダ干渉計型導波路型光合分波器のポート3とももう一方のポート2を結んだ構成で、波長 λ_1, λ_2 を含む帯域の光を透過し、波長 λ_2 を含む帯域の光を結合する導波路型光合分波器において、 N_1, N_2 を整数、 $\text{neff}(\lambda_1)$ を導波路の波長 λ_1 の光に対する等価屈折率とした40 とき、位相差付与部の導波路長差 $\Delta L_1, \Delta L_2$ 、方向性結合器の波長 λ_2 の結合率 $\kappa(\lambda_2)$ が、次に示す条件式。

$$\Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_3 / \text{neff}(\lambda_3) \quad (1)$$

$$P_c(\lambda_2) = 4 \cdot \kappa(\lambda_2) \cdot (1 - \kappa(\lambda_2)) \cdot \cos^2(\text{neff}(\lambda_2) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda_2) = 0.5 \quad (2)$$

$$2 \cdot N_2 = \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) / \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) - \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) / \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) \quad (3)$$

$$\Delta L_2 = (N_2 \pm 0.5) \cdot \lambda_1 / \text{neff}(\lambda_1) = N \cdot \lambda_2 / \text{neff}(\lambda_2) \quad (4)$$

を満たすことにある。

【0 0 1 5】また、請求項2記載の本発明の要旨は、条 50

件式(2)で示した波長の関数、

$$P_c(\lambda) =$$

$$4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot [1 - \kappa(\lambda)] \cdot \cos^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda]$$

の微分 $dP_c(\lambda) / d\lambda$ が波長 λ_2 、あるいは λ_2 近傍の波長で 0 となるように、方向性結合器の結合率 $\kappa(\lambda)$ 、導波路の等価屈折率 $\text{neff}(\lambda)$ 及び位相差付与部の導波路長差 ΔL_1 を選定してなることにある。

【0 0 1 6】

【作用】本発明は、(従来例 2) における条件式 (14)、(15) の代わりに、上記条件式 (1)、(2) を用いることで設計の自由度をましたることにある。

【0 0 1 7】(従来例 2) では、 λ_2 を決めれば、式 (1) 4 より λ_3 は 1 対 1 対応(正確に言えば、土の符号があるので 1 対 2 対応)で決まってしまう。

【0 0 1 8】それに対して本発明では、条件式 (1)、*

$$P_c(\lambda) = 4 \cdot [1 - \kappa(\lambda)] \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda] \\ dP_c(\lambda_2) / d\lambda = 0 \quad (18)$$

波長 λ の光が結合ポートに分波されるためには、

$$\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_1 = N_1 \cdot \lambda \quad (19)$$

$$P_c(\lambda) = [1 - \kappa(\lambda)] \cdot 4 \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2[\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda] = 0.5 \quad (20)$$

という条件を満たす必要がある。波長 λ_2 は条件式 (5) 及び (2) により式 (19)、(20) を満たすので分波される。帯域を広げるには、 λ_2 の付近の波長でも式 (19)、(20) を満たした状態に近づけることが必要である。そこで、本発明は、波長の関数 $P_c(\lambda)$ の変化率 ($dP_c(\lambda) / d\lambda$) を λ_2 の付近で最も小さくなるように設計したものである。

【0 0 2 2】図 6 乃至図 15 に本発明の作用を説明するための図を示す。なお、以後の説明では、光合分波器の位相差付与部では、導波路長差だけ考慮にいれることにする(即ち、位相差付与部 6.0 において導波路 5.8 の長さを ΔL_1 、導波路 5.9 の長さを 0 とみなす。この様にしても理論上問題はない)。*

※

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \cos[\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1]}{\sin[\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1]} \right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{\kappa(\lambda) \cdot \sin[\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1]}{[1 - \kappa(\lambda)] \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos[\beta(\lambda) \cdot \Delta L_1]} \right)$$

$$\beta(\lambda) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{neff}(\lambda)}{\lambda}$$

【0 0 2 5】図 6 で出力された光と共役な関係の光を逆方向に入射した場合の様子を図 7 に示す。これは、即ち電界振幅が E_1 、位相が $-\theta_1$ である光を結合ポート 5 5 から、電界振幅が E_2 、位相が $-\theta_2$ である光を透過ポート 5 4 から同時に入射した場合、入力ポート 5 3 a

50

から電界振幅が E_0 の光が射出されることを意味している。つまり、入力ポート 5 3 a から光を入れた場合に結合ポート 5 5、透過ポート 5 4 から射出される光と共役な関係の光を結合ポート 5 5、透過ポート 5 4 から入射すれば、入力ポート 5 3 a に光は戻るということである。

る。なお、ここで位相は相対的な関係だけ考えればよいことを図9の説明のところで述べる。

【0026】図8は図6と同じ光合分波器の入力ポート5 3 bから電界振幅がE₀、位相が0の光を入射した場合の、出力光の電界振幅と位相について説明する図である。ここで、ポート5 4から出力される光の電界振幅をE₁、位相をφ₁、ポート5 5から出力される光の電界振幅を

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{1 + \cos \{ \beta(\lambda) \cdot \Delta L_1 \}}{\sin \{ \beta(\lambda) \cdot \Delta L_1 \}} \right)$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{-\{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \sin \{ \beta(\lambda) \cdot \Delta L_1 \}}{\{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \cos \{ \beta(\lambda) \cdot \Delta L_1 \} - \pi(\lambda)} \right)$$

$$\beta(\lambda) = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{neff}(\lambda)}{\lambda}$$

【0028】図8で出力された光と共役な関係の光と、ポート5 5とポート5 4間での位相差と電界振幅が同じである光を逆方向に入射した場合の様子を図9に示す。これは、即ち図9で電界振幅がE₀、位相がポート5 4よりもφ₁ - φ₂だけ進んだ光をポート5 5から、電界振幅がE₀、位相がポート5 5よりもφ₁ - φ₂だけ遅れた光をポート5 4から同時に入射した場合、入力ポート5 3 bから光が射出されることを意味している。つまり、入力ポート5 3 bから光を入れた場合、射出された光とポート5 5とポート5 4での位相差が逆で、電界振幅が同じ光を逆に入射すれば、入力ポート5 3 bに光が戻るということである。

【0029】次に、図6乃至図9で説明した考え方を用いて、本発明の動作を説明する。

【0030】図10に示す様に、説明のために本発明である光合分波器を3つの領域に分け、入射ポートから光を入射した場合の各領域での光の動きについて、図11乃至図15で説明する。

【0031】図11は領域1での光の電界振幅と位相を説明するための図である。電界振幅E₀の光を入力ポート6 1から入射したときの、結合した光の電界振幅をE₁、位相をθ₁、透過した光の電界振幅をE₂、位相をθ₂とすれば、請求項に示した条件式(2)から、波長入※

$$\begin{aligned} E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda) \cdot \Delta L\}] &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 \pm (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 \pm 1\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot (\phi_2 - \phi_1)] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot (\phi_1 - \phi_2)] \end{aligned}$$

【0034】となる。

【0035】このように、波長入₁に関しては、"導波路7 4に入射される光よりも導波路7 5に入射される光の方が、位相がθ₁ - θ₂ + (2 · N₂ ± 1) · πだけ進んでいる"ということは、"導波路7 4に入射される

* 振幅をE₂、位相をφ₂とする。そのときφ₁、φ₂は、方向性結合器の結合率κ(λ)、位相差付与部の導波路長差ΔL、導波路の伝搬定数β(λ)を用いて、次の式で表すことができる。

【0027】

【数2】

※₂の光の場合は、E₁ = E₂であり、条件式(1)から、波長入₃の光の場合は、E₁ = 0、E₂ = E₀であることが分かる。

【0032】図12は領域1で射出された光が、領域2に入射して、どのような位相変化をするか示したものである。ここで、位相に関しては、同時に射出される光に対して、導波路7 1と導波路7 2の差だけ考えればよい。よって、導波路7 1には電界振幅がE₁で、位相がθ₁ - θ₂の光が、導波路7 2には電界振幅がE₂、位相が0の光が射出されるものとする。射出された光は領域2で電界振幅は変化せず、位相のみ変化する。導波路7 1から射出される光の位相は、θ₁ - θ₂ + β

(λ) - ΔL₂、導波路7 2から射出される光の位相は0である。ここで、条件式(3)、(4)から、波長入₁では、β(λ₁) - ΔL₂ = (2 · N₂ ± 1) · π、波長入₂では、β(λ₂) - ΔL₂ = 2 · N₂ · πであることが分かる。図13は領域2で射出された波長入₁の光が、領域3に入射して、どのように透過ポートに射出されるかを説明する図である。ここで、詳しい説明を省くが、波長入₁に対しては(φ₁ - φ₂) - (θ₁ - θ₂) = -πが成立つ。よって、

【0033】

【数3】

光よりも導波路7 5に入射される光の方が、位相がφ₁ - φ₂だけ遅れている" (2 · πの整数倍の位相は0と同じである) のと同じであることが分かる。よって、この場合は導波路7 4に電界振幅がE₁、位相が-(φ₁ - φ₂)の光が、導波路7 5に電界振幅がE₂、位相が

0 の光が入射されたことになるが、これは図 9 の場合と同じである（図 9 を上下逆にしてみればよく分かる）。従って、波長 λ_2 の光は透過ポートに出力されることが分かる。

【0 0 3 6】図 1 4 は領域 2 で出射された波長 λ_2 の光*

$$E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda_2) \cdot \Delta L\}] = E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + 2 \cdot N_2 \cdot \pi\}] \\ = E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}]$$

【0 0 3 8】となり、ここで波長 λ_2 では、 $E_1 = E_2$ であるから、図に示すように、導波路 7 4 に電界振幅が E_1 、位相が $\theta_1 - \theta_2$ の光が、導波路 7 5 に電界振幅が E_2 、位相が 0 の光が入射される”ことは、”導波路 7 4 に電界振幅 E_2 、位相が 0 の光が、導波路 7 5 に電界振幅が E_1 、位相が $-(\theta_1 - \theta_2)$ の光が入射される”のと同じみなすことができ、図 1 4 に示すように変換可能である。これは、図 7 の場合と同じである。従って、波長 λ_2 の光は結合ポートに出力されることが分かる。請求項 2 記載の本発明では、 $E_1 = E_2$ の波長に対する変化率を波長 λ_2 で最小となるようにして、入射波長では $E_1 = E_2$ とすることで帯域の狭まりを防いでいる。図 1 5 は領域 2 で出射された波長 λ_3 の光が、領域 3 に入射して、どのように透過ポートに出射されるかを説明する図である。波長 λ_3 の光の場合は、 $E_1 = 0$ 、 $E_2 = E_0$ であるから、導波路 7 5 にのみ光が入射されたと同じである。領域 3 を経て導波路 7 4 から出射される光の電界振幅を E_1 、導波路 7 5 から出射される光の電界振幅を E_2 とすると、ここで、条件式 (I) から、 $E_1 = 0$ 、 $E_2 = E_0$ であることが分かる。従って、波長 λ_3 の光は透過ポートに出力されることがある。

【0 0 3 9】

【実施例】以下に、本発明の実施例を図 1 乃至図 3 を参考しながら説明する。図 1 は本実施例に係わる導波路型光合分波器を示す図であり、同図 (a) は平面図、同図 (b) は $a-a'$ 線断面図である。図 2 は、本発明（請求項 1）の実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を示す図であり、同図 (a) は入力ポート 1 8 から光を入力した場合の結合ポート 2 0 の損失波長特性を、同図 (b) は入力ポート 1 8 から光を入力した場合の透過ポート 1 9 での損失波長特性を示している。図 3 は、本発明（請求項 2）の実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を示す図であり、同図 (a) は入力ポート 1 8 から光を入力した場合の結合ポート 2 0 での損失波長特性を、同図 (b) は入力ポート 1 8 から光を入力した場合の透過ポート 1 9 での損失波長特性を示している。

【0 0 4 0】本実施例の導波路型光合分波器は図 1 に示すように、導波路 2、3 が直線状に伸びたり、曲げ半径 3 0 mm で曲がったりすることにより形成されており、4 つの方向性結合器 5、6、7、8 とそれらを結ぶ位相差付与部 1 1、1 4、1 7 により構成されている。同図 (b) に示すように、導波路 2、3 は、基板 1 上に形成さ

*が、領域 3 に入射して、どのように結合ポートに出射されるかを説明する図である。

【0 0 3 7】

【数 4】

れたコア 2 a、3 a をクラッド 4 で覆ったものである。

同図 (b) に示すように方向性結合器 5、6、7、8 は、導波路 2、3 が平行に間隔 G a p で配置されたものであり、その平行部分の長さを L C で表すことにする。位相差付与部 1 1 は導波路 9 を導波路 1 0 よりも ΔL_1 だけ長くすることにより、位相差付与部 1 4 は導波路 1 2 を導波路 1 3 よりも ΔL_2 だけ長くすることにより、位相差付与部 1 7 は導波路 1 6 を導波路 1 5 よりも ΔL_3 だけ長くすることにより、位相差を与えている。

【0 0 4 1】基板 1 とクラッド 4 の屈折率は 1. 4 5

8、コアの屈折率は 1. 4 6 2 4、コアの高さ、幅とも 8 μm である。材質は、基板 1 が S 1 O 2 - B 2 O 5 - P 2 O 5 、コアが S 1 O 2 - T 1 O 2 である。

【0 0 4 2】図 1 において、方向性結合器の G a p を 3. 5 μm 、平行部の長さ L C を 2 1 3 μm 、位相差付与部 1 1 と 1 7 の導波路長差 ΔL_1 を 1. 2 9 3 μm 、位相差付与部 1 4 の導波路長差 ΔL_2 を 3. 1 7 1 μm とした実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を図 2 中に実線により示す。ここで前記した波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 は、 $\lambda_1 = 1. 3 1 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 1. 5 3 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_3 = 1. 2 5 \mu\text{m}$ である。なお、図 2 中に比較のため破線により、（従来例 2）の導波路型光合分波器の損失波長特性を示している。従来の設計方法では実線のような特性は実現できない。例えば、ここで仮に目標を、結合ポートでは波長 $\lambda = 1. 2 4 \sim 1. 3 2 \mu\text{m}$ で 2 5 dB 以上（棒 2 1 の外側を分光曲線が通ればよい）、波長 $\lambda = 1. 5 2 5 \sim 1. 5 3 5 \mu\text{m}$ で 0. 0 5 dB 以下（棒 2 2 の外側を分光曲線が通ればよい）、透過ポートでは波長 $\lambda = 1. 2 4 \sim 1. 3 2 \mu\text{m}$ で 0. 1 dB 以下（棒 2 3 の外側を分光曲線が通ればよい）、波長 $\lambda = 1. 5 2 5 \mu\text{m} \sim 1. 5 3 5 \mu\text{m}$ で 2 0 dB 以上（棒 2 4 の外側を分光曲線が通ればよい）と定めると、本発明では、実線の特性を実現できるので目標を達成できるが、従来では達成できない。このように、本発明の導波路型光合分波器は目標に応じた設計の自由度の点で優れている。

【0 0 4 3】図 1 において、方向性結合器の G a p を 3. 8 4 μm 、平行部の長さ L C を 2 7 μm 、位相差付与部 1 1 と 1 7 の導波路長差 ΔL_1 を 3. 1 5 6 μm 、位相差付与部 1 4 の導波路長差 ΔL_2 を 2. 1 1 5 μm とした実施例の導波路型光合分波器の損失波長特性を図 3 中に実線により示す。また比較のために図 3 中に破線

で(従来例1)の導波路型光合分波器の損失波長特性を示してある。従来では、図5(b)に示すように、また前で述べたように、片方の帯域を広げるともう一方の帯域は狭くなってしまうという問題があったが、本発明の導波路型光合分波器は、図3に示すように、1. 3 μm 帯で帯域が広くなっているにもかかわらず、1. 5 3 μm 帯で帯域は狭くなっていない。むしろ、1. 5 3 μm 帯でも帯域が広くなっている。このように、分波する両方の帯域を広くできる点で本発明の導波路型光合分波器は優れている。

【0044】なお、実施例で用いた材料以外に、コアとしてはS₁O₂ - GeO₂がよく用いられる。

【0045】基板、クラッド、コア材料としては以上に述べた以外にも、その他の誘電体材料、半導体材料、有機材料を用いることができる。

【0046】

【発明の効果】

(1) 請求項1記載の本発明によれば、片方の帯域を狭めることなしに、もう一方の帯域を広げた導波路型光合分波器を容易に実現することができる。

【0047】(2) 請求項2記載の本発明によれば、片方の帯域を狭めることなしに逆に少し広げて、もう一方の帯域を拡大できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を示す図であり、同図(a)は平面図、同図(b)はa-a'断面図である。

【図2】本発明(請求項1)の実施例の光合分波器の損失波長特性のグラフである。

【図3】本発明(請求項2)の実施例の光合分波器の損失波長特性のグラフである。

【図4】従来例を示す図であり、同図(a)は従来の光合分波器の平面図、同図(b)は損失波長特性のグラフである。

【図5】従来例を示す図であり、同図(a)は従来の光合分波器の平面図、同図(b)は損失波長特性のグラフである。

【図6】本発明の作用を説明する図である。

【図7】本発明の作用を説明する図である。

【図8】本発明の作用を説明する図である。

【図9】本発明の作用を説明する図である。

【図10】本発明の作用を説明する図である。

【図11】本発明の作用を説明する図である。

【図12】本発明の作用を説明する図である。

【図13】本発明の作用を説明する図である。

【図14】本発明の作用を説明する図である。

【図15】本発明の作用を説明する図である。

【符号の説明】

20 1 基板

2、3 導波路

4 クラッド

5、6、7、8 方向性結合器

9、10、12、13、15、16 導波路

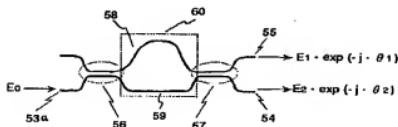
11、14、17 位相差付与部

18 入力ポート

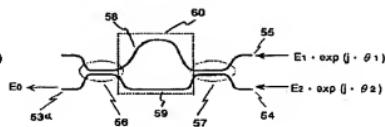
19 透過ポート

20 結合ポート

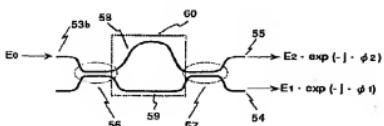
【図6】



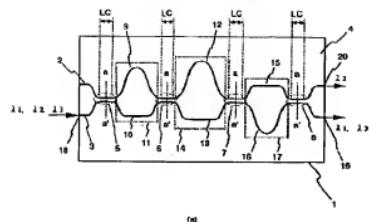
【図7】



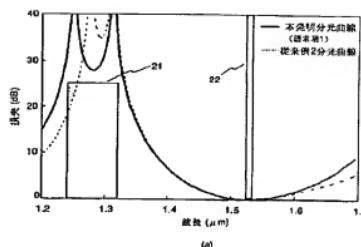
【図8】



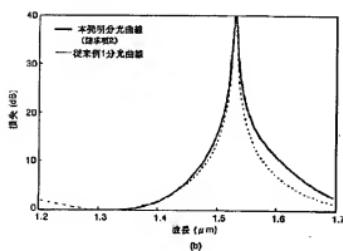
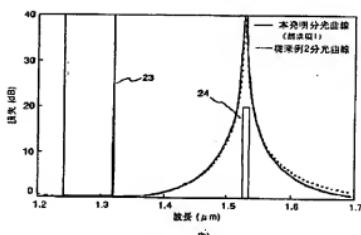
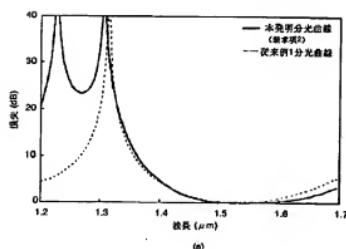
【図 1】



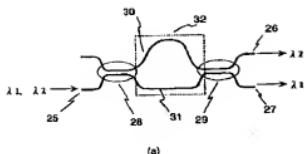
【図 2】



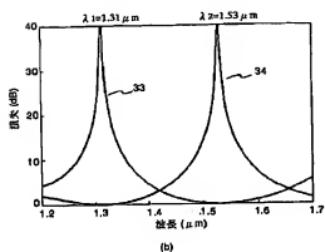
【図 3】



【図 4】

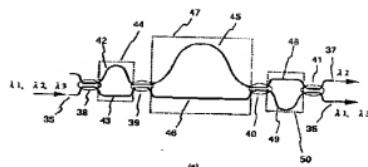


(a)

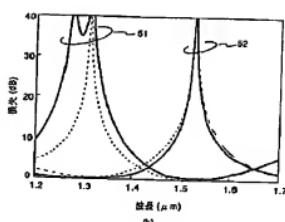


(b)

【図 5】

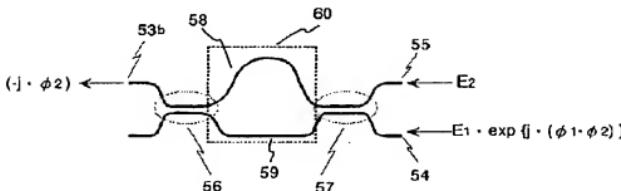


(a)

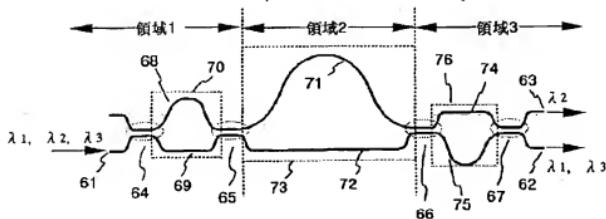


(b)

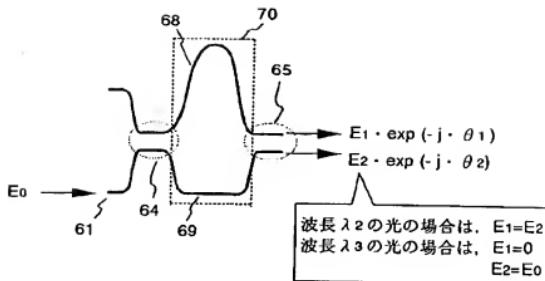
【図 9】



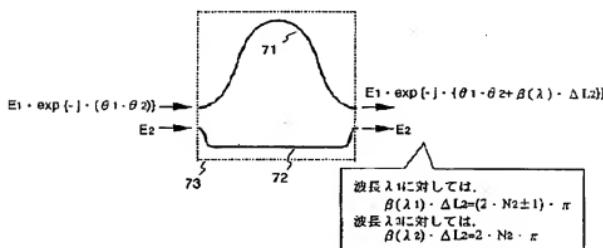
【図 10】



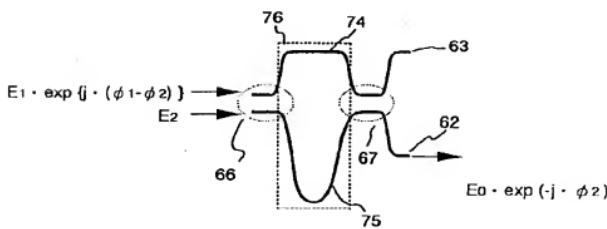
【図 1 1】



【図 1 2】

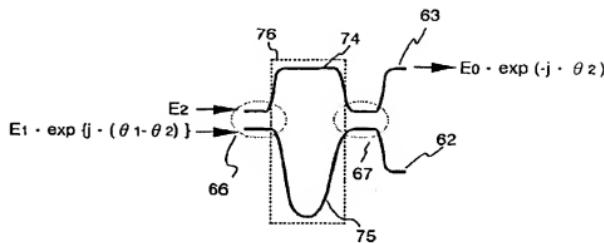


【図 1 3】

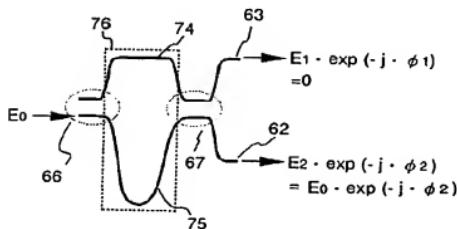


【図14】

$$\begin{array}{c} E_1 \cdot \exp [-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}] \\ E_2 \end{array} \xrightarrow{\text{変換可能}} \begin{array}{c} E_2 \\ E_1 \cdot \exp [j \cdot \{\theta_1 - \theta_2\}] \end{array}$$



【図15】



Paragraph 0002:

[Conventional technology]

(Example 1 of the prior art)

A conventional Mach-Zender interferometer waveguide type optical multiplexer/demultiplexer applying the principle of Mach-Zender interferometer (hereinafter referred to as optical multiplexer/demultiplexer) is constituted as shown in Figure 4(a). More specifically, the optical multiplexer/demultiplexer comprises two directional couplers 28 and 29 whose coupling ratio of light intensity is κ (λ) and a phase difference assing part 32 which includes waveguides 30 and 31 whose lengths differ only by ΔL_2 . The optical multiplexer/demultiplexer is adapted such that when light of wavelengths λ_1 and λ_2 are input into an input port 25 in one end of the waveguide, light of wavelength λ_1 is obtained from a passing port 27 in the other end, and light of wavelength λ_2 is obtained from coupling port 26 in the other end.

Paragraph 0007:

(Reference literature 1: Institute of Electronics, Information and Communication Engineers collected papers C-I Vol. J73-C-I No.5 pp.354-359 May 1990)

(Example 2 of the prior art)

A passing wavelength range and a blocking wavelength range of the optical multiplexer/demultiplexer described in example 1 of the prior art is narrow, and enlarging the ranges was needed to make it practicable. Consequently, an optical multiplexer/demultiplexer shown in Figure 5 has been developed.

(Reference literature 2: T. Kominato et al ; Optical multi/demultiplexer with a modified Mach-Zender interferometer configuration ; OEC'94, Technical digest pp.174-175 , July 12-15, 1994)

The point of the optical multiplexer/demultiplexer of the example 2 of the prior art (shown in Figure 5) is that the directional coupler is replaced with a Mach-Zender interferometer type optical multiplexer/demultiplexer and that in addition to wavelength λ_1 in conventional example 1, wavelength λ_3 is transmitted by using the multiplexing/demultiplexing feature of the replaced Mach-Zender interferometer type optical multiplexer/demultiplexer (hereinafter abbreviated to as a daughter MZ multiplexer/demultiplexer). As shown in Figure 5 (a), the

construction of the conventional example 2 includes a daughter MZ multiplexer/demultiplexer which comprises a phase difference adding part 44 including waveguides 42 and 43 whose lengths differ by ΔL_1 and directional couplers 38 and 39 with a coupling ratio $\kappa(\lambda)$, and another daughter MZ multiplexer/demultiplexer which comprises a phase difference adding part 50 including waveguides 48 and 49 whose lengths differ by ΔL_1 and directional couplers 40 and 41 with a coupling ratio $\kappa(\lambda)$, and these daughter MZ multiplexers/demultiplexers are arranged upside down with each other and are connected by waveguides 45 and 46 whose lengths differ by ΔL_2 .

Paragraph 0008:

In this multiplexer/demultiplexer, assuming that P_{2-3} is the transmission ratio of the light passing from the input port 35 to the passing port 37, and P_{2-4} is the optical coupling ratio of the light passing from the input port 35 to the passing port 36, following equations are formed.

$$P_{2-4} = \{1 - 2 \cdot P_c(\lambda)\}^2 + 4 \cdot P_c(\lambda) \cdot \{1 - P_c(\lambda)\} \cdot \sin^2 \{\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (10)$$

$$P_{2-3} = 4 \cdot \{1 - P_c(\lambda)\} \cdot P_c(\lambda) \cdot \cos^2 \{\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_2 / \lambda\} \quad (11)$$

$$P_c(\lambda) = 4 \cdot \{1 - \kappa(\lambda)\} \cdot \kappa(\lambda) \cdot \cos^2 \{\text{neff}(\lambda) \cdot \pi \cdot \Delta L_1 / \lambda\} \quad (13)$$

Here, ΔL_2 is determined from equations (5), (6) and (7) in the same way as the conventional example 1.

Paragraph 0009:

Here, the coupling ratio $\kappa(\lambda)$ of the directional couplers and the waveguide optical length difference ΔL_1 of the phase difference adding part are obtained by the following equations (14) and (15).

$$\text{neff}(\lambda) \cdot \Delta L_1 = (N_1 \pm 0.5) \cdot \lambda_2 / 2 = N_1 \cdot \lambda_3 / 2 \quad (14)$$

$$\kappa(\lambda_2) = 0.5 \quad (15)$$

Here, N_1 is an integer, and λ_3 is a wavelength close to wavelength λ_1 .

Paragraph 0032:

Figure 12 shows how phase change of the light output from range 1 changes by launching into range 2. Here, regarding the phase, only the difference between waveguide 71 and 72 need

to be considered for lights incoming concurrently. Consequently, it is assumed that light with an electric-field amplitude E_1 and an phase $\theta_1 - \theta_2$ is input into waveguide 71, and light with an electric-field amplitude E_2 and phase 0 is input into waveguide 72. In region, the electric-field amplitude of the input light does not change, and only the phase changes. An optical phase of the light output from waveguide 71 is $\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda) \cdot \Delta L_2$, and an optical phase of the light outputted from waveguide 72 is zero. Here, from the conditional equations (3) and (4), it is understood that $\beta(\lambda_1) \cdot \Delta L_2 = (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi$ when the wavelength is λ_1 , and $\beta(\lambda_2) \cdot \Delta L_2 = 2 \cdot N_2 \cdot \pi$ when the wavelength is λ_2 . Figure 13 is an explanation drawing in relation to how the wavelength λ_1 output from region 2 launches into region 3 and is output the passing port. Here, detailed explanation is omitted, but $(\varphi_2 - \varphi_1) - (\theta_1 - \theta_2) = -\pi$ at wavelength λ_1 . Hence, the following equation is composed.

$$\begin{aligned} E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + \beta(\lambda_1) \cdot \Delta L\}] &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 + (2 \cdot N_2 \pm 1) \cdot \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot \{\theta_1 - \theta_2 \pm \pi\}] \\ &= E_1 \cdot \exp[-j \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)] \\ &= E_1 \cdot \exp[j \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)] \end{aligned}$$

Paragraph 0046

.....

[Brief description of the drawings]

.....

Figure 4 illustrates an example of prior art, Figure 4(a) is a plain view of a conventional optical multiplexer/demultiplexer, and Figure 4(b) is a graph of a loss wavelength characteristic.

Figure 5 illustrates another example of prior art, Figure 5(a) is a plain view of another conventional optical multiplexer/demultiplexer, and Figure 5(b) is a graph of another loss wavelength characteristic.

.....

Figure 10 is an explanation drawing for the function of the present invention.

.....

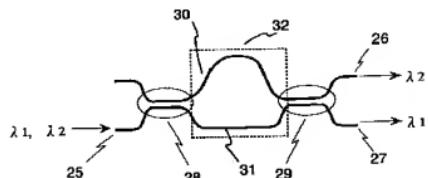
Figure 12 is an explanation drawing for the function of the present invention.

Figure 13 is an explanation drawing for the function of the present invention.

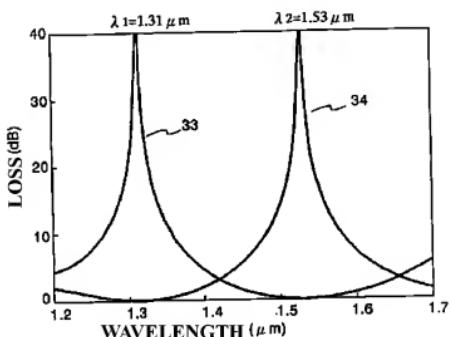
.....

[Explanation of references]

1	substrate
2 and 3	waveguide
4	cladding
5, 6, 7 and 8	directional optical coupler
9, 10, 12, 13, 15 and 16	waveguide
11, 14 and 17	phase difference adding part
18	input port
19	passing port
20	coupling port

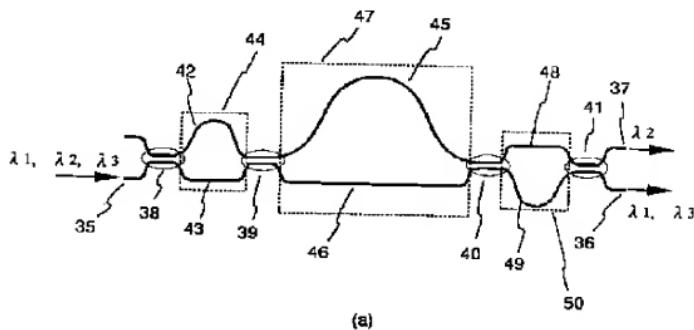


(a)



(b)

FIG.4



(a)

(b)

FIG.5

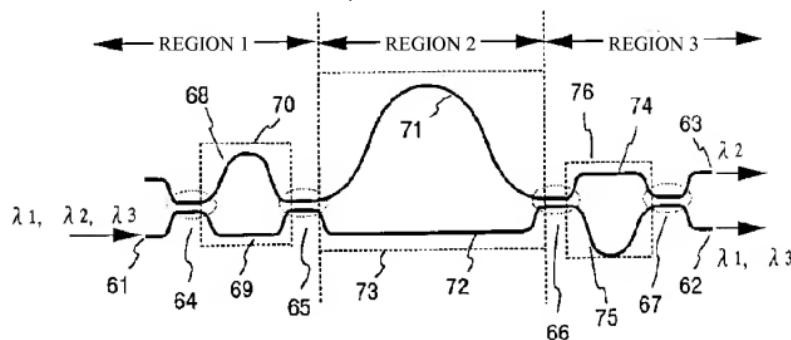


FIG. 10

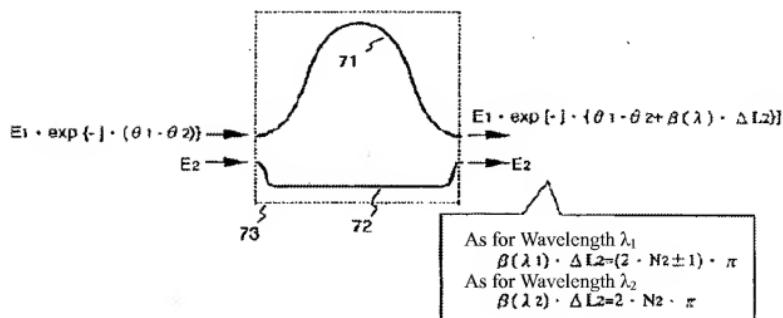


FIG. 12

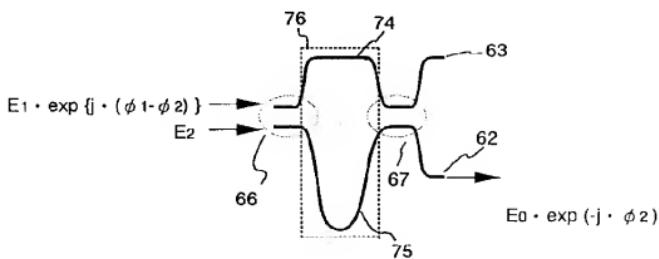


FIG.13